

STUDI KOMPARASI METODE STOKASTIK DAN DETERMINISTIK DALAM PEMODELAN SPASIAL PERUBAHAN PENUTUP LAHAN MENGGUNAKAN CELLULAR AUTOMATA

Widya Rahmawati
rahmawati.widya@gmail.com

Bowo Susilo
bowo.susilo@gmail.com

Abstract

Undirected urban growth can disturb comfort, so study about physical urban growth necessary to do. Urban growth is dynamic phenomena. Dynamic spatial modelling is suitable for this study, one of them of spatial modeling can be use is Cellular Automata (CA). this study using variabel as driving force to modelling landcover change that called CA deterministic and the other method is using CA stocastic with markov chain modelling.

Tis study usingekstraction of multitemporal image landsat 1992, 2002 and 2013 as base for controlling the result. Each CA modelling use area matriks transision, probablilitas matriks transision, neighbourhood and base landcover.

Comparasion the result of CA deterministic and CA stocastic with different neighbourhood by looking at the sample point and the attribut as well. The result proved CA deterministic is better in modelling landcover change.

Keyword: *Cellular Auotomata Deterministic, Cellular Automata Stocastic, area matriks transision, Probabilitas Area Transision, Neighbourhood, Modelling*

Intisari

Perkembangan penutup lahan pada daerah kota sekitarnya yang kurang terarah dapat mengganggu kenyamanan dari kota dan penduduk nya oleh karena itu dilakukan kajian tentang perubahan penutup lahan. Perubahan penutup lahan terutama didaerah kota dan sekitar nya bersifat sangat dinamis sehingga sangat cocok dilakukan pemodelan, terutama *Cellular Automata* (CA). Penelitian dilakukan dengan menggunakan variabel-variabel pendorong terjadinya perubahan dan disebut dengan CA deterministik, dan dengan CA stokastik yang diambil dari pemodelan rantai markov.

Penelitian dilakukan dengan mengekstrak data citra tahun 1992, 2002 dan 2013 sebagai acuan hasil. Pemodelan CA masing-masing memerlukan matriks area transisi, matriks probabilitas transisi, ketetanggaan dan penutup lahan sebagai dasar pemodelan.

Hasil pemodelan CA deterministik dan CA stokastik dengan ketetanggaan yang berbeda kemudian dilakukan perbandingan berupa uji akurasi dengan meilihat titik sampel dan dengan serta atribut. Hasilnya CA deterministik terbukti lebih baik dalam pemodelan perubahan penutup lahan.

Kata Kunci : *Cellular Automata Deterministik, Cellular Automata Stokastik , Matriks area transisi, Matriks probabilitas transisi, Ketetanggaan, Pemodelan*

PENDAHULUAN

Perubahan penutup lahan adalah suatu fenomena yang sangat kompleks berdasarkan pada, pertama karena hubungan yang kompleks, interaksi antara kelas penutup lahan yang berbeda. Kedua adalah karena keanekaragaman variasi dan kekompleksan dari faktor yang menyebabkan perubahan penutup lahan, contohnya keadaan ekonomi dan transportasi (Charif dkk, 2012)

Dinamika perubahan penutup lahan merupakan suatu isu yang sangat menarik untuk dibahas. Hal ini berkaitan langsung dengan perkembangan suatu wilayah. Pengembangan wilayah dapat dirumuskan sebagai rangkaian upaya untuk mewujudkan keterpaduan dalam penggunaan berbagai sumber daya, merekatkan dan menyeimbangkan pembangunan nasional dan kesatuan wilayah nasional, meningkatkan keserasian antar kawasan, keterpaduan antar sektor pembangunan melalui proses penataan ruang dalam rangka pencapaian tujuan pembangunan yang berkelanjutan dalam wadah NKRI (Direktorat Jendral Penataan Ruang Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah)

Seperti yang terjadi pada kota-kota lain di seluruh dunia, Yogyakarta juga mengalami pertumbuhan yang sangat cepat. Pertumbuhan dapat dilihat dari perubahan fisik daerah di Kota Yogyakarta yang telah melampaui batas administrasi. Yogyakarta merupakan contoh daerah yang dapat dilakukan pemodelan perubahan penutup lahan, dimana penutup lahan dapat diekstrak dari data penginderaan jauh. Model yang dibuat berdasarkan perubahan penutup lahan untuk prediksi penutup lahan selanjutnya. Penutup lahan ini juga terkait dengan perkembangan suatu wilayah.

Terdapat metode untuk memodelkan perubahan penutup lahan yang diturunkan

dari beberapa informasi terkait. Informasi data spasial dimodelkan menjadi suatu informasi prediksi perubahan penutup lahan menggunakan berbagai macam metode salah satunya *Cellular Automata* (CA). Penerapan CA untuk mengamati dinamika penutup lahan memiliki alasan bahwa terdapat banyak keuntungan dari penerapan model CA diantaranya mampu memberikan suatu simulasi dalam studi berbagai macam fenomena perkembangan perubahan penutup lahan seperti pertumbuhan regional, *urban sprawl*, gentrifikasi, keseimbangan Pareto, pertumbuhan perumahan, dinamika populasi, aktivitas ekonomi dan lapangan kerja, sejarah urbanisasi, perubahan penggunaan lahan, dan lain sebagainya (Torrens, 2010).

Studi tentang perkembangan wilayah terkait dengan perubahan penutup lahan banyak dikaji dengan melihat faktor prediktor yang merupakan deterministik dari pemodelan CA. Perbandingan hasil pemodelan dilakukan dengan melihat hasil prediksi menggunakan variabel-variabel tersebut sebagai variabel prediktor dengan pemodelan CA tanpa memberikan variabel determinan sebagai aturan transisinya atau bisa disebut pemodelan CA secara konvensional.

Penambahan determinan yang merupakan variabel prediktor perubahan membuat pemodelan CA menjadi lebih realistis karena Wu, 2002 dalam Mohammad, 2013 menyatakan bahwa pengembangan CA model stokastik dimana kemungkinan data penggunaan lahan dapat diekstrak dan diamati, menegaskan bahwa kemampuan CA model konvensional ini akan meningkat jika komponennya digabungkan dengan model lainnya.

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat mengetahui dinamika perubahan penutup lahan menggunakan CA

dikembangkan dengan dua model yaitu model stokastik dan model deterministik. Perbedaan CA menggunakan metode

METODE PENELITIAN

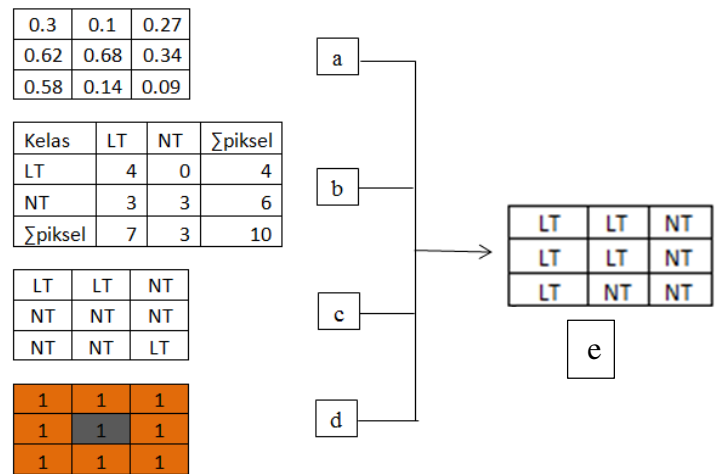
Tahapan awal dari penelitian ini adalah koreksi geometrik. Kedua koreksi citra ini dilakukan karena ada saat perekaman data di permukaan terdapat beberapa faktor yang terkadang mengakibatkan penurunan kualitas citra. Koreksi radiometric perlu dilakukan untuk memperbaiki kesalahan citra akibat kondisi atmosfer ketika perekaman.

Citra yang telah dilakukan koreksi kemudian dilakukan klasifikasi multispektral untuk memperoleh 2 kelas lahan yaitu lahan terbangun dan non terbangun. Perubahan penutup lahan di analisis berdasarkan data penutup lahan multi temporal yang diperoleh melalui klasifikasi digital *Maximum Likelihood*. Dari klasifikasi diperoleh peta penutup lahan tahun 1992 dan tahun 2002. Penutup lahan tahun 2002 akan dijadikan sebagai dasar/base dari pemodelan untuk tahun 2012.

Analisis pemodelan menggunakan model *Cellular Automata* memperhitungkan beberapa input. Pada penelitian ini input model *Cellular Automata* adalah sebagai berikut.

- Base landcover : adapun dalam penelitian ini adalah peta penutup lahan T2 (tahun 2002) sebagai data multitemporal terakhir
- MPT : peta probabilitas perubahan penutup lahan dari hasil spasial regresi logistik biner
- MAT: hasil prediksi luas perubahan penutup lahan tahun 1992 dan 2002
- Ketetanggaan (*Neighbourhood*) : jenis ketetanggaan yang digunakan adalah *moore* yang memiliki sifat kompak dan kernel/filter yang digunakan adalah 3x3, 5x5 dan 7x7.

stokastik dan deterministik terdapat pada model dalam membangun *transision rules*.



b : Contoh matriks area transisi

c : Penutup lahan tahun 2002

d : Contoh ketetanggaan Moore 3 x 3

e : Hasil transisi tahun 2002 ke tahun 2012

Perbedaan antara CA deterministik dan CA stokastik terletak di MPT dan MAT nya. CA deterministik memperoleh MPT dari gabungan variabel yang diasumsikan mendorong terjadinya perubahan penutup lahan yaitu jarak terhadap jalan utama, jalan lokal, lahan terbangun eksisting, CDB, universitas serta kepadatan jaringan jalan. Masing-masing variabel dilakukan normalisasi dan dilakukan pembobotan yaitu sebagai berikut.

$$\text{MPT} = (8,23 \times \text{kepadatan jaringan jalan}) - (1,37 \times \text{jarak terhadap lahan terbangun}) - (\text{Jarak terhadap perguruan tinggi}) - (\text{jarak terhadap CBD}) + (1,17 \times \text{jarak terhadap jalan lokal}) + (1,05 \times \text{jarak terhadap jalan utama})$$

MAP didapatkan dari regresi jumlah penutup lahan terbangun dengan jumlah penduduk masing-masing pada tahun 1992, 1996, 2002 untuk mengetahui besaran area yang akan berubah tahun 2012 berdasarkan penduduk tahun 2012.

CA stokastik memperoleh MAP serta MPT dari pemodelan rantai markov. Rantai markov inbersifat distrit yaitu perubahan untuk tahun 2012 ini hanya dipengaruhi oleh perubahan tahun 1992 ke tahun 2002.

Hasil pemodelan lalu dilakukan komparasi melalui akurasi masing-masing model.

HASIL DAN PEMBAHASAN

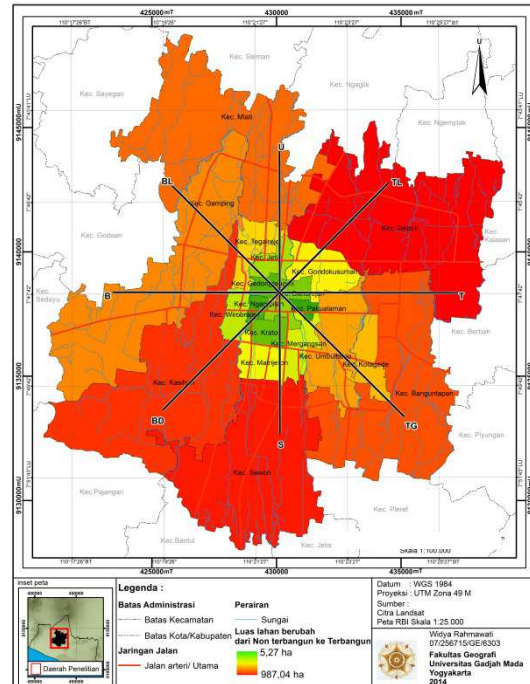
Peta penutup lahan klasifikasi multispektral yang dilakukan pada citra landsat TM 1992 dan citra landsat ETM 2002. Klasifikasi dilakukan dengan membagi citra menjadi beberapa kelas yaitu sawah, sawah irigasi, lahan terbuka, semak, vegetasi berkayu rapat, vegetasi berkayu sedang yang kemudian dikategorikan sebagai lahan non terbangun, sedangkan permukiman dan aspal dikategorikan sebagai lahan non terbangun.

Pada tahun 1992, penutup lahan pada Kota Yogyakarta dan daerah pinggirannya (urban Fringe) masih didominasi oleh penutup lahan non terbangun, sebesar tiga kali lebih luas daripada luasan daerah terbangun. Penutup lahan non terbangun paling besar berada pada wilayah pinggiran kota, sedangkan pada wilayah kota proporsi penutup lahan lebih banyak dibandingkan lahan yang belum terbangun (non terbangun).

Tahun	Lahan Non terbangun (ha)	Lahan Terbangun (ha)
1992	158.41	55.36
2002	103.99	109.78
Total	262.41	165.14

Penutup Lahan Tahun 2002 menunjukkan perubahan yang sangat signifikan. Perubahan penutup lahan dari lahan non terbangun menjadi lahan terbangun jumlahnya tidak terlalu besar pada daerah kota, karena pada dasarnya kota sudah terdiri dari lahan terbangun, sedangkan pada daerah pinggiran luasnya daerah yang berubah sangat besar, mencapai dua kali lipat besarnya dibandingkan tahun 1992. Perubahan lahan non terbangun terjadi paling banyak pada daerah yang berdekatan dengan kota,

dan di daerah yang memiliki aksesibilitas jalan yang tinggi.



Gb. 1 peta luasan lahan yang berubah per kecamatan

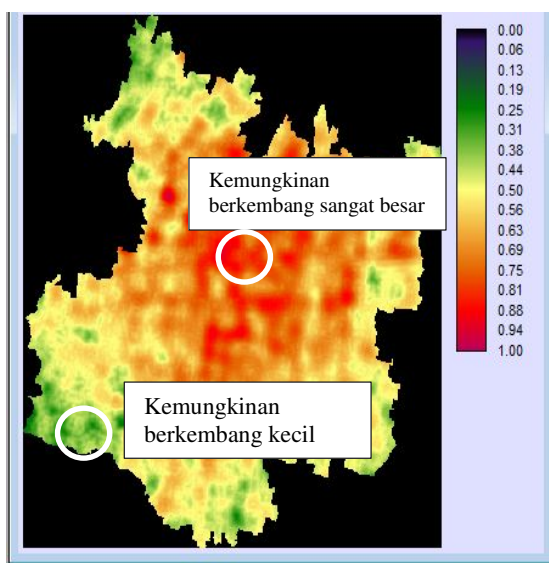
Secara visual menunjukkan bahwa pada tahun 1992 hingga tahun 2002 perubahan terjadi pada pinggiran Kota Yogyakarta secara administratif. Perubahan fisik Kota Yogyakarta cenderung mengarah ke arah selatan, barat daya serta timur laut. Perubahan secara kuantitatif dapat terlihat bahwa perubahan penutup lahan yang besar terjadi pada daerah pinggiran kota yaitu pada kabupaten sleman dan bantul.

Hasil klasifikasi multispektral dengan menggunakan algoritma maksimum likelihood memiliki kelemahan diantaranya karena penggunaan 2 data multitemporal yang masing masing di sampel dengan ROI yang berbeda terdapat kelas yang tidak masuk akal karena kesalahan klasifikasi. Kesalahan klasifikasi yang terjadi yaitu pada tahun

1992 merupakan kelas terbangun dan pada tahun 2002 merupakan kelas non terbangun, hal ini secara logika merupakan fenomena yang tidak logis sehingga perlu dilakukan antisipasi. Antisipasi yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan mengelaskan lahan non terbangun pada tahun 2002 yang merupakan kelas terbangun di tahun 1992 menjadi kelas lahan terbangun, sehingga perubahan lahan dari terbangun menjadi lahan non terbangun tidak ada atau sama dengan nol (0).

Pemodelan penutup lahan Kota Yogyakarta dan daerah pinggirannya tahun 2012 dilakukan dengan menggunakan model CA deterministik, yaitu dengan memasukkan determinan atau faktor-faktor pendorong perubahan penutup lahan. Pemodelan penutup lahan memerlukan 4 input data matriks area transisi, matriks probabilitas transisi, ketetanggaan dan yaitu penutup lahan tahun 2002 sebagai penutup lahan dasar yang dijadikan acuan perubahan.

MPT CA deterministik Variabel jarak terhadap jalan utama, jalan lokal, lahan terbangun eksisting, CDB, universitas serta kepadatan jaringan jalan. Masing-masing variabel dilakukan normalisasi dan dilakukan pembobotan sehingga menghasilkan peta MPT.



Gb. 2 MPT CA Deterministik

MAT didasarkan pada besaran perubahan penutup lahan selain didasarkan pada kemungkinan perubahan penutup lahan berdasarkan hasil klasifikasi penutup lahan tahun pertama (1992) ke tahun kedua (2002) tapi juga mempertimbangkan jumlah penduduk. Pertumbuhan jumlah penduduk diregresikan dengan penutup perubahan khususnya berhubungan dengan jumlah lahan terbangun.

Berdasarkan data jumlah penduduk dan data luasan lahan terbangun pada tahun 1992, 1996, dan tahun 2002 maka akan dilakukan regresi untuk mendapatkan perkiraan jumlah lahan terbangun yang akan terjadi pada tahun 2012.

Nilai persamaan yang didapat adalah $y = 0,04x - 30.029,59$. Sehingga berdasarkan nilai persamaan tersebut, untuk jumlah penduduk tahun 2012 sebesar 1.077.777 didapatkan kebutuhan lahan terbangun tahun 2012 adalah 13.081,49ha. 13.081,49ha dikonversi menjadi 130.814.900 m² kemudian diubah menjadi piksel yaitu dibagi dengan 30x30 (sesuai dengan besaran format raster hasil klasifikasi multispektral) sehingga menghasilkan 145.350 piksel. Format MAT dalam pemodelan CA adalah notepad, sehingga dihasilkan nilai sesuai

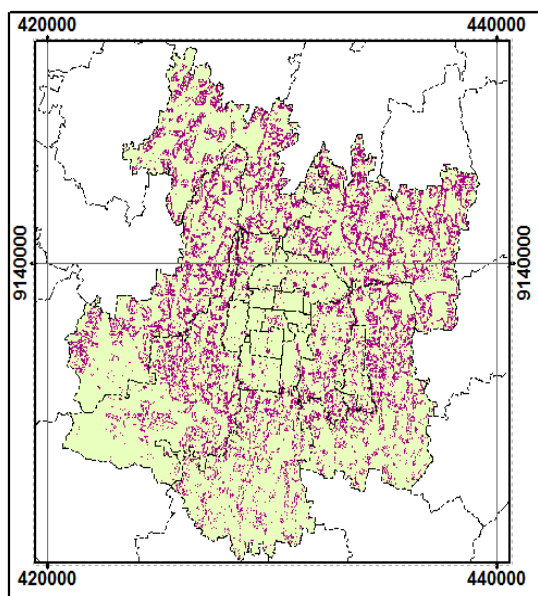
Cells in : Expected to transition to :		
	cl. 1	cl. 2
Class 1 :	102469	0
Class 2 :	42881	92182

Gb. 3 MAT CA Deterministik

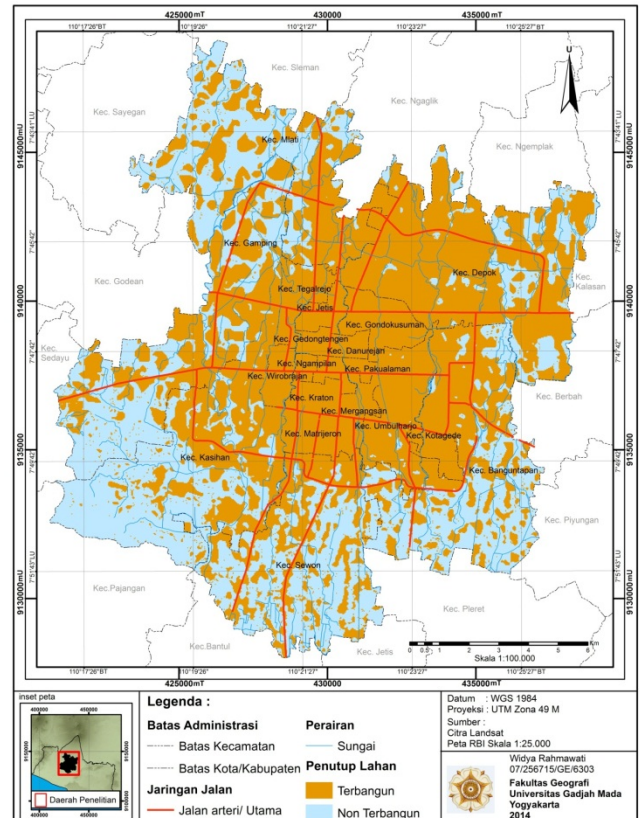
Gambar menunjukkan bahwa class 1 dan class 2 adalah kelas pada penutup lahan tahun 2002 sedangkan cl1 dan cl2 adalah pemodelan tahun 2012. Class 2 berubah menjadi cl1 adalah sebesar 42.881 piksel karena kebutuhan lahan terbangun pada tahun 2012 berdasarkan persamaan adalah 145.350 piksel, sedangkan piksel yang merupakan lahan terbangun sebesar 102.469 piksel sehingga masih dibutuhkan 42.881 piksel lahan yang berubah menjadi lahan terbangun.

CA deterministik menghasilkan dapat dilihat perbandingan antara ketetanggaan moore kernel 3x3, 5x5 dan 7x7. Pada

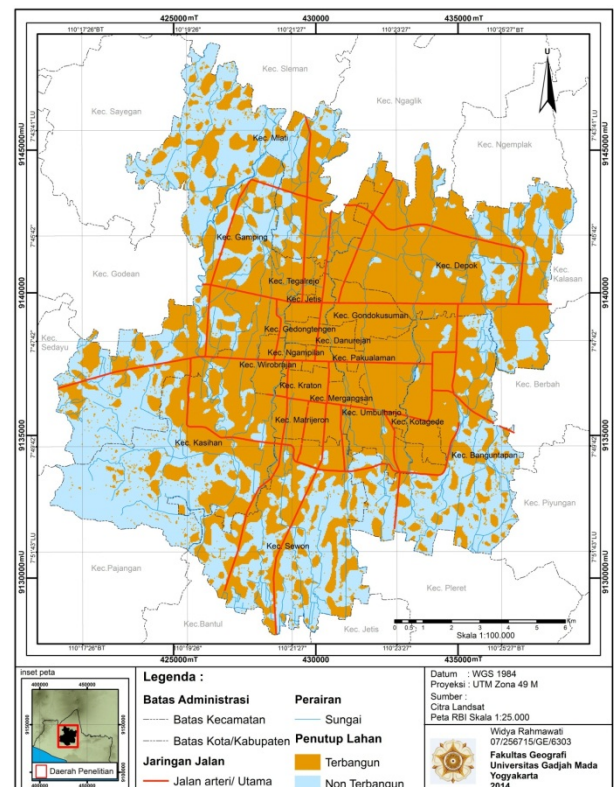
pemodelan CA deterministik kernel 3x3 dibandingkan dengan 5x5 dan 7x7 bersifat lebih menyebar, hal ini disebabkan oleh semakin sedikit jumlah piksel tetangga yang dipertimbangkan maka hasilnya semakin menyebar dibandingkan pemodelan dengan menggunakan pertimbangan piksel tetangga yang lebih banyak yaitu pada kernel 5x5 dan 7x7 yang bersifat lebih kompak. Perubahan penutup lahan pada kernel 3x3 cenderung berada di sekitaran Kota Yogyakarta serta mengarah ke utara, timur laut, barat laut serta barat dan timur sedangkan daerah selatan kurang banyak perubahan yang terjadi. Pada kernel 5x5 perubahan banyak di sekitara Kota Yogyakarta dan mengarah ke timur, barat serta timur lau, sedangkan pada kernel 7x7 perubahan penutup lahan terjadi berkumpul pada daerah pinggiran Kota Yogyakarta serta mengerah ke daerah timur laut yaitu depok. Pada ketida model terlihat banyak terjadi pada kecamatan Gedongtengen, Gamping, Wirobrajan, Kotagede, Tegalrejo dan Kasihan. Kecamatan-kecamatan ini pada MPT memiliki probabilitas yang tinggi untuk berubah.



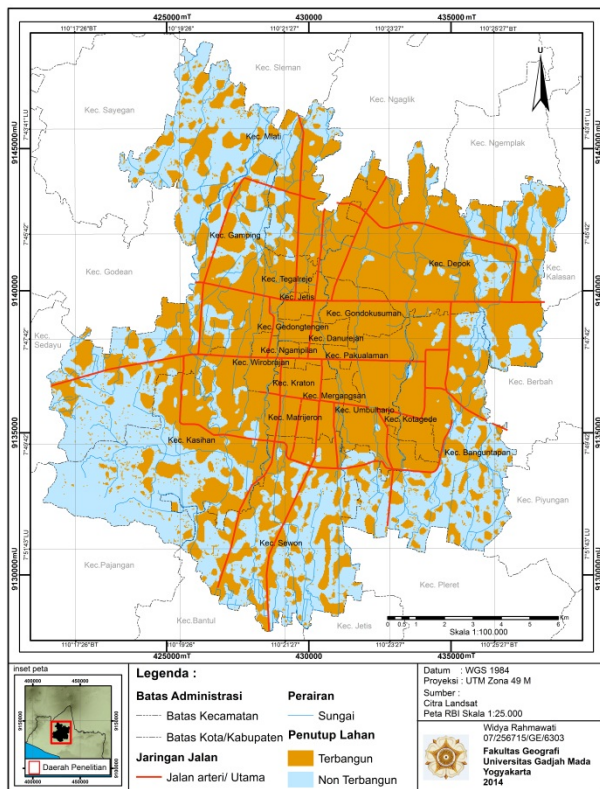
Gb. 4 Perbandingan penutup lahan 2002 dan CA Deterministik 3x3



Gb. 5 Penutup Lahan CA deterministik kernel 3x3



Gb. 6 Penutup Lahan CA deterministik kernel 5x5



Gb. 7 Penutup Lahan CA deterministik kernel 7x7

CA Stokastik yaitu merupakan proses asli CA tanpa ditambahkan determinan yang menentukan perubahan penutup lahan.

Pemodelan penutup lahan memerlukan 4 input data matriks area transisi, matriks probabilitas transisi, ketetanggaan dan yaitu penutup lahan tahun 2002 sebagai penutup lahan dasar yang dijadikan acuan perubahan.

Pemodelan rantai markov dilakukan untuk memperoleh probabilitas dari suatu kelas atau state yang akan dilihat perubahannya berdasarkan dari kondisi sebelumnya. Nilai probabilitas ini yang kemudian digunakan sebagai bagian dalam penyusunan aturan-aturan transisi pada pemodelan CA. hasil klasifikasi pada t1 dan t2 yang menunjukan kelas lahan terbangun dan tidak terbangun akan disimulasikan ke dalam model CA untuk melihat perubahan yang terjadi dan yang akan terjadi sehingga menjadi acuan prediksi perubahan penutup lahan.

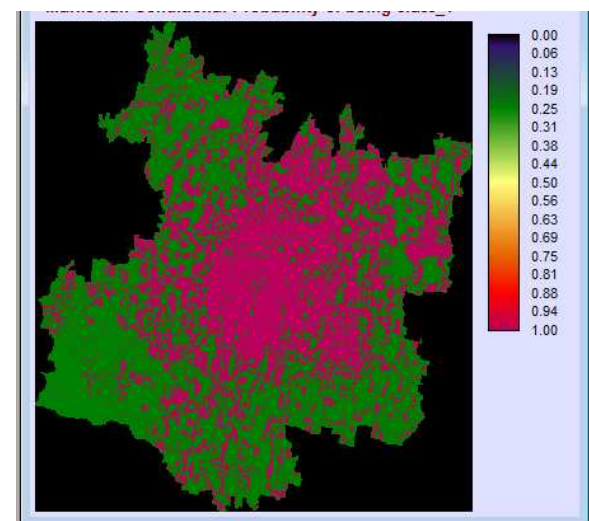
Metode rantai markov digunakan untuk memberikan probabilitas (peluang) perubahan penutup lahan tahun 2012 dari tahun 1992 dan 2002. Data T1 dan T2 memiliki rentang tahun 10 tahun.

MPT Hasil probabilitas perubahan penutup lahan 2012 menunjukan bahwa perubahan kelas C2 -> C1 adalah sebesar 0,2472, sehingga probabilitas lahan non terbangun menjadi lahan terbangun sebesar 24,72%. Nilai probabilitas yang cukup besar ini tergolong wajar karena kebutuhan lahan yang semakin besar terutama untuk permukiman dan perkantoran serta industri.

Matriks area transisi (MAT) didapatkan dari pemodelan rantai markov. Area yang berubah dari lahan non terbangun menjadi lahan terbangun dari tahun 2002 ke tahun 2012 adalah sebesar perubahan yang terjadi antara tahun 1992 dan 2002. Karena pemodelan rantai markov in bersifat diskrit, sehingga besarnya perubahan tahun 2012 ditentukan perubahan yang terjadi pada tahun 1992 dan tahun 2002. Berdasarkan pemodelan Rantai Markov pada tahun 1992 – 2002 terjadi perubahan lahan non terbangun menjadi lahan terbangun sebesar 33.393 piksel sehingga perubahan lahan terbangun ke lahan non terbangun pada tahun 2002 ke tahun 2012 adalah 33.393 piksel.

Cells in :		Expected to transition to :	
		C1. 1	C1. 2
Class 1 :		102469	0
Class 2 :		33393	101670

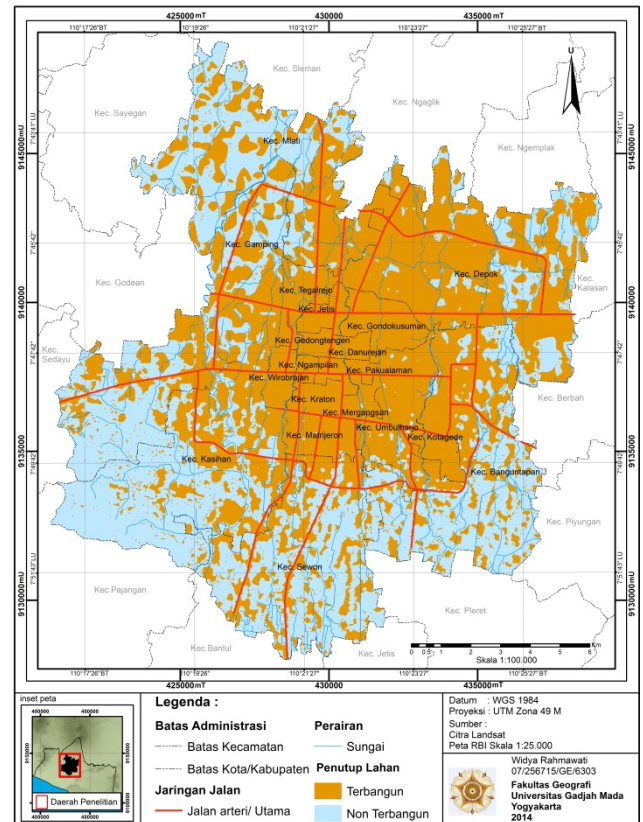
Gb. 8 MAT CA Stokastik



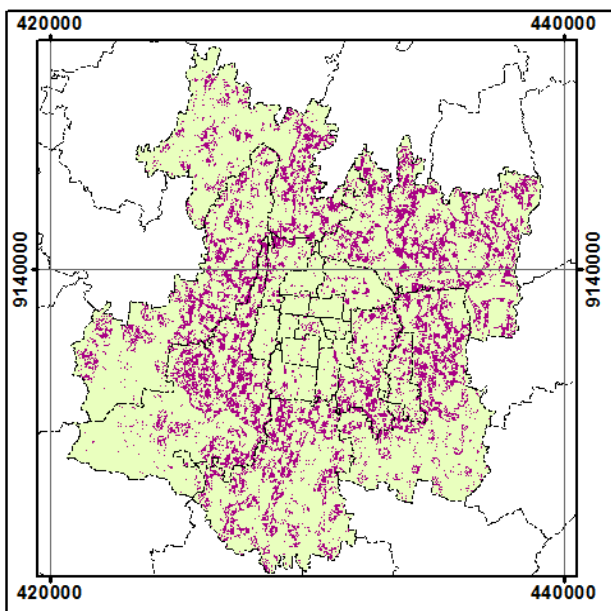
Gb. 9 MPT CA Stokastik

Input pemodelan CA stokastik sama dengan CA deterministik yaitu penutup lahan tahun 2002, MAT dan MPT stokastik, dimana MAT dan MPT didasaptkan dari pemodelan rantai Markov. . Hasil simulasi dengan berbagai simulasi ketetanggaan dan jumlah kernel tersebut menunjukan bahwa semakin sedikit jumlah piksel yang dipertimbangan maka perubahan yang terjadi akan terdistribusi secara menyebar dan semakin besar jumlah piksel yang dipertimbangan maka perubahan yang terjadi akan mengelompok, karena jumlah luasan perubahan yang terjadi sudah diprediksikan.

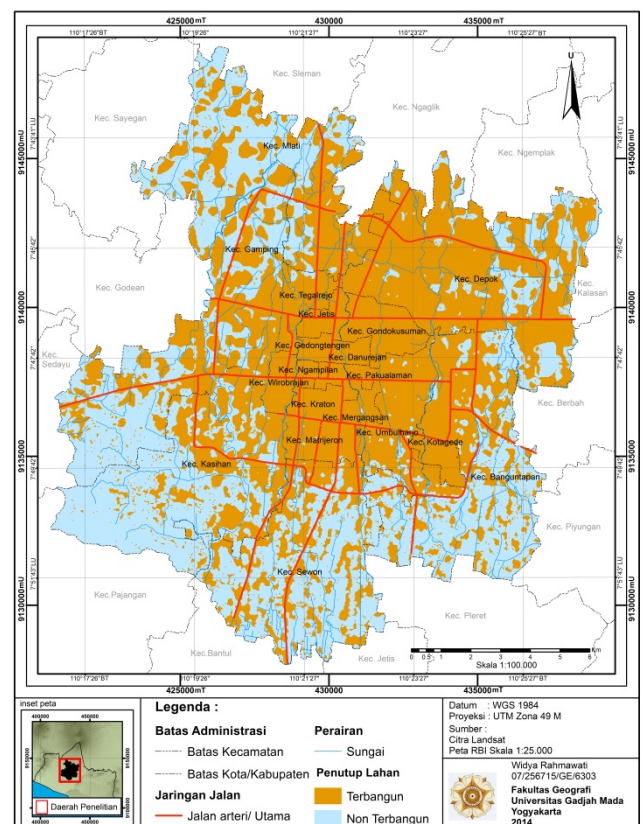
Perubahan penutup lahan dari lahan non terbangun menjadi lahan terbangun terlihat terjadi terutama pada wilayah pinggiran Kota Yogyakarta. Pada kernel 3x3 perubahan yang paling besar terlihat mengarah ke utara, sedangkan untuk kernel 5x5 dan 7x7 berkumpul di pinggiran kota dan juga mengarah ke arah timur laut yaitu kecamatan Depok.



Gb. 11 Penutup Lahan CA Stokastik kernel 3x3



Gb. 10 Perbandingan penutup lahan 2002 dan CA Stokastik 5x5



Gb. 12 Penutup Lahan CA Stokastik kernel 5x5

Uji akurasi CA deterministik dan stokastik dilakukan dengan menggunakan *confusion matriks* dengan acuran data lapangan, citra Quickbird tahun 2012, dan data Landsat 8 tahun 2013. Model yang diuji adalah penutup lahan tahun 2012 dari CA deterministik dan CA stokastik dengan jumlah kernel 3x3, 5x5 dan 7x7. Sampel uji

CA sto 3x3	87.31738	68.54687
CA sto 5x5	86.31036	69.10588
CA sto 7x7	80.59801	69.04718

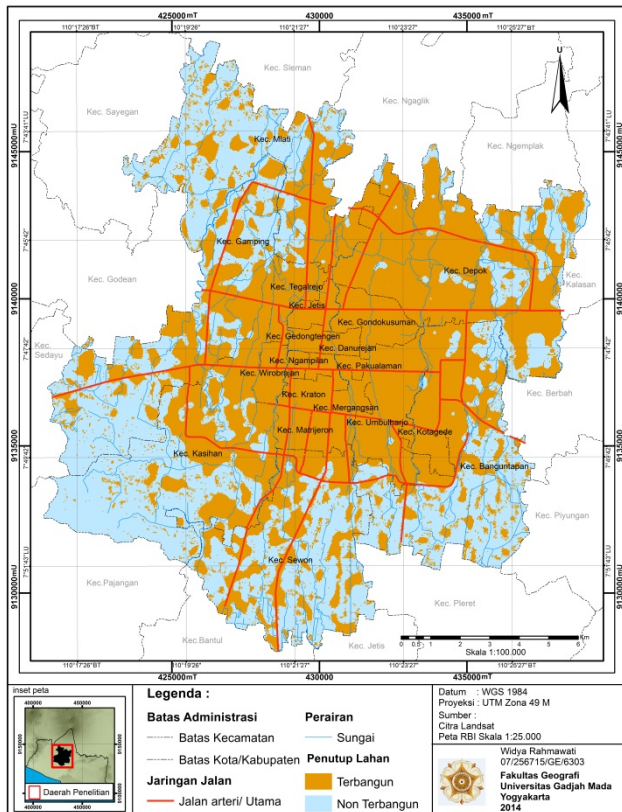
Berdasarkan tabel uji validasi terlihat pada CA deterministik, kernel 5x5 memiliki akurasi yang lebih baik dibandingkan yang lain yaitu mencapai 87%, sedangkan nilai terendah terlihat pada kernel 7x7. Hal yang berbeda pada pemodelan CA stokastik, kernel 3x3 memiliki akurasi yang lebih baik dari yang lain. Uji akurasi pada hasil simulasi semua menunjukkan kappa yang masuk pada kelas moderate agreement.

Uji akurasi untuk membandingkan akurasi yang lebih baik antara CA deterministik dan CA stokastik memiliki kelemahan yaitu akurasi dapat terlihat akurat karena bisa saja kebetulan bertampalan dengan citra dan data lapangan sedangkan data yang tidak termasuk dalam sampel sangat banyak, dan akurasi antara CA deterministik dan CA stokastik juga kurang terlihat.

Penggunaan citra landsat 2013 sebagai pembanding untuk meningkatkan keakuratan perubahan penutup lahan yang terjadi, tidak hanya per point atau per area namun keseluruhan daerah penelitian. Citra landsat 8 tahun 2013 yang diambil pada bulan 6 dianggap masih dapat merepresentasikan penutup lahan untuk pemodelan yang dihasilkan yaitu pemodelan tahun 2012.

Perbandingan dari hasil pemodelan CA deterministik dan stokastik dengan penutup lahan tahun 2013 tidak terlalu terlihat perbedaannya secara jelas jika hanya mengandalkan visual. Pada gambar 4.35 warna cokelat menunjukkan bahwa model dan penutup lahan sama-sama merupakan lahan terbangun, warna hijau menunjukkan pada model lahan terbangun, namun pada penutup lahan adalah non terbangun, sebaliknya dengan warna biru model menunjukkan lahan non terbangun namun pada peta penutup lahan menunjukkan lahan terbangun sedangkan warna ungu menunjukkan kedua peta adalah lahan non terbangun.

Hasil dari uji akurasi pemodelan yang merupakan perbandingan antara kedua model



Gb. 13 Penutup Lahan CA Stokastik kernel 7x7

akurasi adalah titik, dengan asumsi bahwa satu titik pada hasil pemodelan diuji kebenarannya dengan citra resolusi tinggi. Uji akurasi untuk membandingkan model CA deterministik dan stokastik juga dilakukan dengan uji akurasi atribut serta lokasi/posisi dengan menggunakan citra landsat 8 yang memiliki resolusi spasial yang sama.

Tabel 1. Perbandingan akurasi CA deterministik dan CA stokastik

Pemodelan	Uji Akurasi	
	titik sampel	Atribut & posisi
CA det 3x3	86.42857	69.12365
CA det 5x5	87.42409	69.19725
CA det 7x7	81.30049	68.59643

menunjukkan bahwa pemodelan CA deterministik dengan kernel 5x5 menunjukkan keunggulan dalam akurasi baik dari titik sampel maupun dari akurasi geometrik didasarkan pada perbandingan dengan penutup lahan tahun 2013.

Pemodelan CA deterministik memang memiliki keunggulan dalam hal prpbabilitas piksel yang berbeda-beda sesuai dengan variabel yang berpengaruh terhadap perubahan, sehingga perubahan yang terjadi juga lebih akurat dengan perubahan yang terjadi di lapangan dibandingkan CA stokastik yang mengandalkan ketetanggaan dan pemodelan rantai markov dalam menentukan perubahan yang terjadi. Dilihat dari jumlah lahan yang berubah, CA deterministik menunjukan nilai yang berubah dari lahan terbangun menjadi lahan terbangun sebesar 145.350 piksel sedangkan CA stokastik yang didasarkan pada rantai markov sebesar 135.859 piksel, jika dibandingkan dengan penutup lahan tahun 2013 yaitu sebesar 154.890 piksel menunjukan nilai CA deterministik lebih mendekati hasil perubahan penutup lahan

dan lebih akurat. Adanya eror yang dihasilkan oleh penutup lahan tahun 2013 juga ada, hal ini dikarenakan pemodelan dilakukan untuk tahun 2012 sedangkan peta penutup lahan yang digunakan adalah tahun 2013 sehingga dimungkinkan adanya kelebihan jumlah lahan yang berubah.

Kelemahan dari CA deterministik dan CA stokastik adalah tidak dimungkinkan membuat titik-titik perubahan yang baru. Hal ini dikarenakan karena CA sendiri sifatnya memperhatikan ketetanggaan, sehingga jika tetangga disekitarnya bukan lahan terbangun maka tidak memungkinkan piksel untuk berubah. Hal ini bertolak belakang dengan yang terjadi di lapangan. Di lapangan sangat mungkin terjadi pertumbuhan lahan terbangun dengan titik baru, misalkan ada perubahan baru yang baru dirintis, lahan tersebut berada pada sawah yang telah dikeringkan sehingga munculah titik pertumbuhan baru.

KESIMPULAN

Mengacu pada tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini, didapatkan kesimpulan tentang kota yogyakarta dan daerah pinggirannya, berdasarkan data penginderaan jauh dan pengolahan menggunakan SIG, yaitu :

1. Pemetaan penutup lahan tahun 1992 dan 2002 menggunakan klasifikasi multispektral yaitu maximum likelihood classification dapat memberikan gambaran mengenai penutup lahan Kota Yogyakarta dan daerah pinggirannya serta melihat perubahan penutup lahan yang terjadi.
2. Prediksi perubahan penutup lahan tahun 2012 menunjukan besaran perubahan lahan yang terjadi serta lokasi nya secara spasial, baik dengan metode stokastik maupun metode deterministik. Kedua metode menyajikan hasil yang

didasarkan pada pertimbangan variabel-variabel yang berpengaruh, terutama pada metode deterministik yang memiliki variabel-variabel yang lebih banyak dan menghasilkan kesesuaian lahan yang menjadi faktor pertimbangan dalam prediksi *Cellular Automata* di rantai markov.

3. Perbandingan metode stokastik dan deterministik menghasilkan nilai yang menunjukan penggunaan metode deterministik memiliki kemampuan penyajian yang lebih baik, dan walaupun penyebaran penutup lahan memiliki kemiripan dengan CA stokastik pada Kota Yogyakarta dan daerah pinggirannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, B. 2011. Urban land cover change detection analysis and modelling spatio-temporal growth dynamics using remote sensing and gis techniques“a case study of dhaka, bangladesh”. Disertasi. Munster : University of Munster
- Alkheder. S., Shan, Jie.-. *Cellular Automata Urban Growth Simulation and Evaluation - A Case Study of Indianapolis*
- Almeida, C. M, Gleriani, J.M. 2005. *Cellular Automata and neural networks as a modelling framework for the simulation of urban land use change*.
- Anais XII Simposio brasilleiro de Sensoriamento Remoto, Golania, Brasil. INPE, p. 3679 – 2705.
- Anonim. -. Prosedur dan Spesifikasi Teknis Pembuatan Peta Tipologi Pesisir Indonesia.
- BAKOSURTANAL, 2010. Klasifikasi Penutup lahan. Standar Nasional Indonesia
- Behera, D. M. 2012. Modelling and analyzing the watershed dynamics using *Cellular Automata* (CA)–Markov model –A geo-information based approach. *J Earth Syst.Sci* 121. No 4. August 2012. Pp 1011 - 1024
- Danoedoro, Projo. 2012. Pengantar Penginderaan Jauh Digital. Yogyakarta : Penerbit ANDI.
- De by, Rolf A. 2004. Principles of gEographic Information Sistem. ITC : Enschede, Netherland
- Elly, M. J. 2009. Sistem Informasi geografi. Jakarta : Graha ilmu.
- Feriyawan, C. Y. 2012. Kajian Kemampuan Jaringan Syaraf Tiruan Algoritma Propagasi Balik untuk Klasifikasi Penggunaan lahan Menggunakan Citra ALOS AVNIR-2.Skripsi. Yogyakarta : Fakultas Geografi Universitas Gadjah mada.
- Lillesand, T.M. and Kiefer. R. W. 1990. Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press
- Liu, X., Li, X., Shi, X., Wu, S., & Liu, T. (2007). Simulating Complex Urban Development Using Kernel-Based Non-Linear Cellular Automata. *Ecological Modeling*, 211, 169-181. Diakses tanggal 6 Oktober 2011 dari <http://www.sciencedirect.com/>
- Liu, yan. 2009. *Modelling Urban Development with GeographicalInformation Sistem and Cellular Automata*. NewYork : CRC Press.
- McCoy, R M. 2005. Field Method and Remote Sensing. New york : The Guildford press.
- Mulatip, Imam. 2004. Determinan Pertumbuhan Kota di Indonesia. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia*, V(01), hal.61-82.
- Okwuashi, Onuwa et al. (2012). GIS *Cellular Automata* Using Artificial Neural Network for Land Use Change Simulation of Lagos, Nigeria. *Journal of Geography and Geology*; Vol. 4, No. 2; 2012
- Prahasta, Eddy. 2002. Konsep konsep Dasar Sistem Informasi Geografi. Bandung : Penerbit Informatika.
- Prismanata, Yoga. - . Perkembangan kota (urbanisasi) di desa jaten, kecamatan jaten, kabupaten karanganyar.-
- Powel, R., Roberts, D. 2007. Characterizing Urban Growth and Peri-Urban Landscape Change in Rondônia using Multiple Endmember Spektral
- Susilo,Bowo. 2008. Model SIG-Binary Logistic Regression Untuk Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan. *Thesis*. Bandung. Institut Teknologi Bandung.
- Susilo, B. (2006). Geokomputasi Berbasis Sistem Informasi Geografi dan Cellular Automata untuk Pemodelan Dinamika Perubahan Penggunaan Lahan di Daerah Pinggiran Kota Yogyakarta, *Laporan Penelitian*. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada
- Mixture Analysis. Anais XIII Simposio brasilleiro de Sensoriamento

- Remoto, Florianopolis, Brasil. INPE, p. 6933-6940.
- Shan jie, Wang jun, dan Al-kheder. S. 2007. *Cellular Automata Urban growth Model calibration with Genetic model*. West Laffayette USA.
- Urban Remote Sensing Joint Even.
- Skidmore, Andrew. 2002. *Environmental modeling wit GIS and Remote sensing*. Newyork : Taylor & Francis
- Sutanto. 1986. *Penginderaan Jauh jilid 1*. Yogyakarta : Gadjah Mada University press.
- Thoha, A. S. 2008. *Karakteristik Citra Satelit*. Sumatra Utara : Departemen Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Sumatra Utara.
- Widyasamratri, H. - . *Utilization of urban index and vegetation index transformation on aster image satellite for analysis*. Yogyakarta : Gadjah Mada University
- Wijaya, M. S. 2012. *Integrasi Model Spasial Cellular Automata dan Regresi Logistik Biner untuk Pemodelan Dinamika Perkembangan Lahan terbangun (Studi Kasus Kota Salatiga)*. Skripsi. Yogyakarta : Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada